



50212-077
10/792, 034
March 4, 2004
MIYAMOTO et al.

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott Will & Emery LLP

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 2 6 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 5 2 2 2 8
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 4 - 0 5 2 2 2 8]

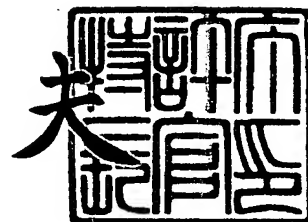
出 願 人 住友電気工業株式会社
Applicant(s):

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

2 0 0 4 年 5 月 2 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 104Y0064
【提出日】 平成16年 2月26日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H04B 1/00
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 宮本 敏行
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 田中 正人
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 小林 潤子
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 奥野 俊明
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 重松 昌行
【発明者】
 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 【氏名】 西村 正幸
【特許出願人】
 【識別番号】 000002130
 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100088155
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹
【選任した代理人】
 【識別番号】 100089978
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 塩田 辰也
【選任した代理人】
 【識別番号】 100092657
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 寺崎 史朗
【選任した代理人】
 【識別番号】 100110582
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2003- 57575

【出願日】 平成15年 3月 4日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0308433

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

正のチャープを有する信号光を出力する信号光源と、

前記信号光が伝搬する光ファイバ伝送路と、

前記信号光源と前記光ファイバ伝送路との間に設けられ、前記信号光源から出力された信号光をラマン増幅する集中定数型ラマン増幅器であって、ラマン増幅用ファイバとして、前記信号光の波長において負の波長分散を有するとともに、非線形屈折率 n_2 及び波長 λ における実効断面積 A_{eff} によって規定される $6.9 (1/W/km)$ 以上の非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ を有する高非線形性ファイバを含む集中定数型ラマン増幅器とを備えた光伝送システム。

【請求項 2】

前記高非線形性ファイバにおける前記信号光の位相シフト量 Φ_{LRA} は、前記光ファイバ伝送路における前記信号光の位相シフト量 Φ_T の $1/2$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 3】

前記高非線形性ファイバの非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ は、 $12.2 (1/W/km)$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 4】

前記高非線形性ファイバは、波長 1550 nm において 0.7 dB 以下の伝送損失を有することを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 5】

前記高非線形性ファイバは、波長 1390 nm 付近における OH 基に起因した増加量が 0.5 dB/km 以下である伝送損失を有することを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 6】

前記高非線形性ファイバは、前記信号光の波長において -20 ps/nm/km 以下の波長分散を有することを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【請求項 7】

前記信号光は、波長間隔が 10 nm 以上である複数の信号チャネルを含み、前記高非線形性ファイバは、前記信号光の波長において -10 ps/nm/km 以下の波長分散を有することを特徴とする請求項 1 記載の光伝送システム。

【書類名】明細書

【発明の名称】光伝送システム

【技術分野】

【0001】

この発明は、信号光をラマン増幅するための構造を備えた光伝送システムに関し、特に、互いに波長が異なる複数信号チャネルの信号光を伝送可能な波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光伝送システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

光伝送システムは、光送信器、光受信器、及びこれら光送信器及び光受信器との間に配置され、該光送信器から出力された信号光を該光受信器に向けて伝送する光ファイバ伝送路により構成されており、大容量の情報の高速送受信を可能にする。また、光ファイバ伝送路を信号光が伝搬する間に該信号光が損失を被ることから、光伝送システムは信号光を光増幅するための光増幅器を備えるのが一般的である。光増幅器のうちのラマン増幅器は、励起光波長を適切に設定することにより、任意の波長の信号光をラマン増幅することができ、光増幅の利得帯域を広くすることができる。

【0003】

また、光送信器に含まれる信号光源は、例えば、レーザダイオードを含み、このレーザダイオードを直接変調することで信号光を発生させる。このような直接変調されたレーザダイオードから出力される信号光は、正のチャープを有している。この信号光が有する正のチャープを補償する技術が非特許文献1に記載されている。すなわち、非特許文献1に記載された光伝送システムでは、その光ファイバ伝送路における非線形光学現象の一種である自己位相変調により、光ファイバ伝送路を伝搬する信号光が有する正のチャープが補償される。このように、信号光源から出力される信号光が有する正のチャープを補償することにより、当該光伝送システムにおける伝送特性の改善が可能となる。

【非特許文献1】J. Jeong, et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol.10, No.9 (1998)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

発明者らは、従来の光伝送システムについて検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、上記非特許文献1に記載された従来の光伝送システムは、光ファイバ伝送路内で生じる自己位相変調を利用して信号光が有する正チャープを補償しているが、自己位相変調を発生させる媒体が該光ファイバ伝送路に限られているため、当該光伝送システムにおける伝送特性を十分に改善することができないという課題があった。

【0005】

加えて、上記非特許文献1に記載された従来の光伝送システムには、信号光伝搬経路上に希土類添加光ファイバ増幅器が配置されている。しかしながら、このような希土類添加光ファイバ増幅器の増幅波長帯域は希土類の蛍光スペクトルの帯域幅に制限されるため、信号チャネル間隔が広いCWDM (Course Wavelength Division Multiplexing) 光伝送に、係る非特許文献1に記載された光伝送システムを適用するのは困難であった。

【0006】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、より広い波長帯域に亘って優れた伝送特性を維持した状態で信号伝送を可能にするための構造を備えた光伝送システムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係る光伝送システムは、互いに波長が異なる複数信号チャネルの信号光を伝送するとともに該信号光をラマン増幅する波長分割多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光伝送システムであって、正のチャープを有する信号光を出力する直接変

調信号光源と、該信号光が伝搬する光ファイバ伝送路と、これら信号光源及び光ファイバ伝送路の間に配置された集中定数型ラマン増幅器とを備える。特に、集中定数型ラマン増幅器は、ラマン増幅用ファイバとして、信号光が有する正のチャープを補償するための高非線形性ファイバを含み、該高非線形性ファイバは、信号光の波長において負の波長分散を有するとともに、意図的に自己位相変調を生させるよう、非線形屈折率 n_2 及び波長 λ における実効断面積 A_{eff} によって規定される $6.9 (1/W/km)$ 以上の非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ を有する。したがって、当該光伝送システムにおいて、信号光源から出力された信号光は、上記集中定数型ラマン増幅器によりラマン増幅された後、光ファイバ伝送路を伝搬する。

【0008】

上記信号光源から出力された信号光が有する正のチャープは、ラマン増幅用ファイバとしての非線形性ファイバ（信号光の波長において負の波長分散を有する）により補償されるとともに、該高非線形性ファイバにおける自己位相変調（SPM: Self-Phase Modulation）によっても補償される。これにより、この発明に係る光伝送システムは、より広い波長帯域に亘って優れた伝送特性が得られる。

【0009】

また、この発明に係る光伝送システムにおいて、上記高非線形性ファイバにおける信号光の位相シフト量 Φ_{LRA} は、上記光ファイバ伝送路における信号光の位相シフト量 Φ_T の $1/2$ 以上であるのが好ましい。この場合、上記高非線形性ファイバにおける自己位相変調に起因した、信号光が有する正のチャープの補償効果が大きくなる。

【0010】

この発明に係る光伝送システムにおいて、上記高非線形性ファイバの非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ は、 $12.2 (1/W/km)$ 以上であるのがより好ましい。この場合、当該高非線形性ファイバにおける自己位相変調に起因した、信号光が有する正のチャープの補償効果が大きくなる。

【0011】

この発明に係る光伝送システムにおいて、上記高非線形性ファイバは、波長 $1550 nm$ において $0.7 dB/km$ 以下の伝送損失を有するのが好ましい。この場合、信号光波長における伝送損失が小さいので、この高非線形性ファイバにおいてラマン増幅を高効率に行なうことができる。

【0012】

この発明に係る光伝送システムにおいて、上記高非線形性ファイバは、波長 $1390 nm$ 付近における OH 基に起因した増加が $0.5 dB/km$ 以下である伝送損失を有するのが好ましい。この場合、励起光波長における伝送損失が小さいので、この高非線形性ファイバにおいてラマン増幅を高効率に行なうことができる。

【0013】

さらに、この発明に係る光伝送システムにおいて、上記高非線形性ファイバは、信号光の波長において $-20 ps/nm/km$ 以下の波長分散を有するのが好ましい。この場合、当該高非線形性ファイバが有する負の波長分散に起因した、信号光が有する正のチャープの補償効果が大きくなる。

【0014】

なお、この発明に係る光伝送システムにおいて、信号光に含まれる信号チャネルの波長間隔は $10 nm$ 以上であるのが好ましく、かつ、ラマン増幅用ファイバとしての高非線形性ファイバは信号光の波長において $-10 ps/nm/km$ 以下の波長分散を有するのが好ましい。この場合、非線形光学現象の一種である四光波混合や相互位相変調（XPM: Cross-Phase Modulation）の発生が抑制され、優れた伝送特性が得られる。また、当該光伝送システムは、信号チャネル間隔が広い CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing) 光通信においても好適に利用され得る。

【発明の効果】

【0015】

以上のようにこの発明によれば、信号光源から出力された信号光が有する正のチャープは、ラマン増幅用ファイバである高非線形性ファイバ（信号光の波長において負の波長分散を有する）により補償され、また、該高非線形性ファイバにおける自己位相変調によっても補償される。これにより、この発明に係る光伝送システムは、より広い波長帯域に亘って優れた伝送特性が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、この発明に係る光伝送システムの各実施形態を、図1～図8を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一部位、同一部材には同一符号を付して重複する説明を省略する。

【0017】

図1は、この発明に係る光伝送システムの一実施形態の構成を示す図である。この図1に示された光伝送システム1は、信号光源10、集中定数型ラマン増幅器20、光ファイバ伝送路である伝送路ファイバ30及び光受信器40を備える。上記信号光源10は、レーザダイオードを含み、このレーザダイオードを直接変調することで、正のチャープを有する信号光が出力される。上記集中定数型ラマン増幅器20は、信号光源10から出力された信号光を入力し、この信号光をラマン増幅し、そして、ラマン増幅された信号光を出力する。伝送路ファイバ30は、集中定数型ラマン増幅器20から出力された信号光を光受信器40へ伝送する。また、光受信器40は、伝送路ファイバ30を伝搬してきた信号光を受信する。

【0018】

図2は、図1に示された光伝送システムにおける集中定数型ラマン増幅器20の構成を示す図である。この図2に示された集中定数型ラマン増幅器20は、光入射端101を介して入力された信号光をラマン増幅し、該ラマン増幅した信号光を光出射端102を介して出力する。この集中定数型ラマン増幅器20は、光入射端101から光出射端102へ至る信号光伝搬経路上に順に配置された、光カップラ111、光アイソレータ121、ラマン増幅用ファイバ130、光カップラ112、光アイソレータ122及び光カップラ113を備える。また、この集中定数型ラマン増幅器20は、光カップラ111に接続されたフォトダイオード141、光カップラ113に接続されたフォトダイオード143a、143b、光カップラ112に接続された光合波器150、光合波器150に接続されたレーザダイオード152a、152b、及び当該集中定数型ラマン増幅器20の増幅動作を制御する制御部160をも備える。

【0019】

上記光カップラ111は、光入射端101を介して入力された信号光の一部をフォトダイオード141へ出力する一方、該信号光の残りを光アイソレータ121へ出力する。フォトダイオード141は、光カップラ111から到達した信号光を受光し、入力信号光パワーに応じた電気信号を制御部160へ出力する。

【0020】

上記光カップラ113は、光アイソレータ122から到達した信号光の一部をフォトダイオード143aへ出力する一方、該信号光の残りを光出射端102へ出力する。フォトダイオード143aは、光カップラ113から到達した信号光を受光し、出力信号光パワーに応じた電気信号を制御部160へ出力する。また、上記光カップラ113は、光出射端102から到達した光の一部をフォトダイオード143bへ出力する一方、該信号光の残りを光アイソレータ122へ出力する。フォトダイオード143bは、光カップラ113から到達した光を受光し、その光パワーに応じた電気信号を制御部160へ出力する。

【0021】

上記光カップラ112は、上記光合波器150から出力された励起光を入力し、この励起光をラマン増幅用ファイバ130に供給する。また、この光カップラ112は、ラマン増幅用ファイバ130から出力された信号光を入力し、該信号光を光アイソレータ122へ出力する。

【0022】

上記光アイソレータ121、122は、光入射端101から光出射端102へ向かう順方向に光を通過させるが、逆方向には光を通過させない。

【0023】

上記レーザダイオード152a、152bそれぞれはラマン増幅用の励起光を出力する光学部品であり、それぞれから出力される励起光の波長は互いに異なる。レーザダイオード152a、152bそれぞれは、ファイバグレーティングとともに用いられて外部共振器を構成するのが好ましい。この場合、安定した波長で励起光を出力することができる。また、同一波長の励起光を出力する2つのレーザダイオードを用い、これら2つのレーザダイオードそれぞれから出力された励起光を偏波合成される構成であってもよい。この場合、励起光パワーを大きくすることができる。上記光合波器150は、レーザダイオード152a、152bそれぞれから出力された励起光を合波し、その合波された励起光を光カプラ112へ出力する。

【0024】

上記制御部160は、フォトダイオード141、143a、143bそれぞれから出力された電気信号を入力し、これら電気信号に基づいてレーザダイオード152a、152bそれぞれからの励起光の出力を制御する。

【0025】

上記ラマン増幅用ファイバ130は、光アイソレータ121から出力された信号光が伝搬する伝送路の一部を構成するとともに、光カプラ112から励起光が供給されることにより該信号光をラマン増幅する。ラマン増幅された信号光は、該ラマン増幅用ファイバ130から光カプラ112へ出力される。このラマン増幅用ファイバ130は、信号光源10と伝送路ファイバ30との間に設けられ、上記信号光源10から出力された信号光をラマン増幅するとともに該信号光が有する正のチャープを補償するための伝送媒体であって、信号光の波長において負の波長分散を有するとともに、意図的に自己位相変調を生じさせる高非線形性ファイバである。

【0026】

このラマン増幅器20は以下のように動作する。すなわち、レーザダイオード152a、152bから出力された励起光は、光合波器150により合波される。該光合波器150からの合波光（励起光）は、光カプラ112を経てラマン増幅用ファイバ130の後方から該ラマン増幅用ファイバ130に供給される。光入射端101を介して入力された信号光は、光カプラ111及び光アイソレータ121を経てラマン増幅用ファイバ130に到達し、該ラマン増幅用ファイバ130においてラマン増幅される。このラマン増幅された信号光は、光カプラ112、光アイソレータ122及び光カプラ113を経て、光出射端102から出力される。

【0027】

上記光入射端101を介して入力された信号光の一部は、光カプラ111により分岐された後、フォトダイオード141に導かれる。このフォトダイオード141は、到達した分岐光の受光量に応じた電気信号を制御部160へ出力する。一方、上記光出射端102から出力される信号光の一部は、光カプラ113により分岐された後、フォトダイオード143aに導かれる。このフォトダイオード143aは、到達した分岐光の受光量に応じた電気信号を制御部160へ出力する。また、上記光出射端102から光アイソレータ122へ向かう光（戻り光）の一部は、光カプラ113により分岐された後、フォトダイオード143bに導かれる。このフォトダイオード143bは、到達した戻り光の一部の受光量に応じた電気信号を制御部160へ出力する。

【0028】

上記制御部160では、フォトダイオード141から出力された電気信号に基づいて入力信号光パワーがモニタされ、フォトダイオード143aから出力された電気信号に基づいて出力信号光パワーがモニタされ、そして、フォトダイオード143bから出力された電気信号に基づいて戻り光パワーがモニタされる。この戻り光パワーは、光出射端102

が接続状態及び開放状態の何れにあるかを表している。そして、制御部 160 は、入力信号光パワーが或る閾値以下である場合、又は、戻り光パワーが或る閾値以上である場合に、レーザダイオード 152a、152b の励起光出力パワーを低減するか、あるいは、これらレーザダイオード 152a、152b からの励起光出力を停止する。また、制御部 160 は、出力信号光パワーと入力信号光パワーとの比に基づいて、ラマン増幅利得が所望値となるように、レーザダイオード 152a、152b の励起光出力パワーを調整する。

【0029】

そして、図 1 に示された光伝送システム 1 全体では、信号光源 10 から出力された信号光は、集中定数型ラマン増幅器 20 によりラマン増幅された後、伝送路ファイバ 30 を伝搬して光受信器 40 に到達する。

【0030】

特に、当該光伝送システム 1 では、信号光源 10 から出力された信号光は正のチャープを有しており、一方、集中定数型ラマン増幅器 20 に含まれるラマン増幅用ファイバ 130 は、信号光波長において負の波長分散を有する。また、ラマン増幅用ファイバ 130 は、非線形光学現象の一種である誘導ラマン散乱を利用して信号光をラマン増幅する高非線形性ファイバであるため、意図的に自己位相変調も発生させ易い。したがって、信号光源 10 から出力された信号光が有する正のチャープは、ラマン増幅用ファイバ 130 が有する負の波長分散により補償され、また、ラマン増幅用ファイバ 130 における自己位相変調によっても補償される。そのため、当該光伝送システム 1 は、優れた伝送特性を有する。

【0031】

以下に、ラマン増幅用ファイバ 130 として要求される条件を示す。すなわち、ラマン増幅用ファイバ 130 における信号光の位相シフト量 Φ_{LRA} は、伝送路ファイバ 30 における信号光の位相シフト量 Φ_T の $1/2$ 以上であるのが好ましい。この場合、ラマン増幅用ファイバ 130 における自己位相変調に起因した信号光が有する正のチャープの補償効果が大きいからである。

【0032】

ここで、位相シフト量 Φ は、以下の式 (1) で表される。

【0033】

【数 1】

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^L \frac{n_2(z)}{A_{eff}(z)} P_{signal}(z) dz \quad \dots (1)$$

【0034】

上記式 (1) において、 z は、光ファイバ (長さ L) の長手方向に沿った位置を表す変数であり、 $n_2(z)$ は、位置 z における光ファイバの非線形屈折率であり、 $A_{eff}(z)$ は、位置 z における光ファイバの信号光波長 λ での実効断面積であり、 $P_{signal}(z)$ は、位置 z における光ファイバ中の信号光パワーである。

【0035】

また、非線形屈折率 n_2 及び信号光波長 λ における実効断面積 A_{eff} とで規定される、上記ラマン増幅用ファイバ 130 の非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ は、大きいほど好ましく、例えば $6.9 (1/W/km)$ 以上、さらには $12.2 (1/W/km)$ 以上であるのが好ましい。また、ラマン増幅器 1 段当たりに使用されるラマン増幅用ファイバ 130 の長さは $5 km$ 以下であるのが好ましい。これは、ラマン増幅用ファイバ 130 内部で生じるダブルレイリー散乱に起因した伝送品質の劣化を回避するためである。非線形屈折率 n_2 は、 $3.5 \times 10^{-20} m^2/W$ 以上であるのが好ましく、 $4.5 \times 10^{-20} m^2/W$ 以上であればさらに好ましい。実効断面積 A_{eff} は、 $30 \mu m^2$ 以下であるのが好ましく、 $15 \mu m^2$ 以下であればさらに好ましい。このような場合、ラマン増幅用ファイバ 130 の非線形性が大きく、ラマン増幅用ファイバ 130 における自己

位相変調に起因した、信号光が有する正のチャープの補償効果が大きくなる。

【0036】

上記ラマン増幅用ファイバ130は、波長1550nmにおいて0.7dB/km以下の伝送損失を有するのが好ましい。また、ラマン増幅用ファイバ130は、波長1390nm付近におけるOH基に起因した増加が0.5dB/km以下である伝送損失を有するのが好ましい。これらの場合、信号光波長及び励起光波長の双方においてラマン増幅用ファイバ130の伝送損失が小さくなるので、高効率のラマン増幅が可能になる。

【0037】

また、上記ラマン増幅用ファイバ130は、信号光の波長において -20ps/nm/km 以下、さらには -60ps/nm/km 以下の波長分散を有するのが好ましい。この場合、当該ラマン増幅用ファイバ130が有する負の波長分散に起因した、信号光が有する正のチャープの補償効果が大きくなる。加えて、上記ラマン増幅用ファイバ130は、伝送路ファイバ30が有する正の波長分散を効率的に補償することができる。

【0038】

なお、信号光に含まれる信号チャネルの波長間隔は10nm以上であり、上記ラマン増幅用ファイバ130は信号光の波長において -10ps/nm/km 以下の波長分散を有してもよい。この場合、非線形光学現象の一種である四光波混合や相互位相変調の発生が効果的に抑制され、より広い波長帯域に亘って優れた伝送特性が得られる。

【0039】

上記ラマン増幅用ファイバ130と他の光ファイバとの間の接続損失は0.5dB以下であるのが好ましく、この場合には、優れたラマン増幅効率が達成できる。

【0040】

また、当該集中定数型ラマン増幅器20内における位相シフト量 Φ_{LRA} が大きいほど、信号光の伝送特性が改善され得る。ただし、当該集中定数型ラマン増幅器20における増幅利得は、集中定数型ラマン増幅器20の内部及び伝送路ファイバ30の入射端において誘導ブリルアン散乱が発生しない程度に、設定されるのがよい。

【0041】

図3は、この発明に係る光伝送システムの効果を確認するために用意された実験系の構成を示す図である。図4は、図3に示された実験系を用いた実験結果を示すグラフである。図3に示された実験系では、集中定数型ラマン増幅器を備えたこの発明に係る光伝送システムと、Er元素添加光ファイバ増幅器を備えた比較例の光伝送システムを想定している。これら実験系は、光増幅器を除き、図1に示された光伝送システム1において、伝送路ファイバ30と光受信器40との間に可変光アッテネータ50及び光フィルタ60が挿入された構成を有する。これら実験系において、信号光源10から出力される信号光のビットレートは2.5Gbps、その波長は1550nmである。光増幅器から出力される信号光パワーは10dBmである。伝送路ファイバ30は、波長1.3μm付近に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバ(SMF)であり、その長さは0km、40km、60km、80km、100kmである。図4中のグラフG410は、伝送路ファイバ30の長さを変えたときの比較例に係る光伝送路(Er元素添加光ファイバ増幅器を備える)のパワーペナルティを示し、グラフG420は、伝送路ファイバ30の長さを変えたときのこの発明に係る光伝送システム(集中定数型ラマン増幅器を備える)のパワーペナルティを示す。

【0042】

図4から分かるように、集中定数型ラマン増幅器(LRA)及びEr元素添加光ファイバ増幅器(EDFA)のいずれを有する実験系でも、伝送路ファイバ30が長いほど、パワーペナルティは悪化している。しかしながら、Er元素添加光ファイバ増幅器(EDFA)と比較して、ラマン増幅用ファイバにおいて自己位相変調が発生し易い集中定数型ラマン増幅器(LRA)の方が、パワーペナルティは優れている。

【0043】

図5は、図1に示された光伝送システム1における信号光伝送経路上の信号光パワーP

signal の分布を示すグラフである。また、図6は、図1に示された光伝送システム1に含まれるラマン増幅用ファイバ130及び伝送路ファイバ30それぞれの諸元を纏めた表である。なお、用意されたラマン増幅用ファイバ130は、 $23.9 (1/W/km)$ の非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ と、3kmの長さ、波長1550nmにおいて0.53dB/kmの伝送損失と、波長1550nmにおいて $-13.6 (ps/nm/km)$ の波長分散を有する。一方、用意された伝送路ファイバ30は、 $0.34 (1/W/km)$ の非線形定数 $(2\pi/\lambda) \cdot (n_2/A_{eff})$ と、100kmの長さ、波長1550nmにおいて0.2dB/kmの伝送損失と、波長1550nmにおいて $16 (ps/nm/km)$ の波長分散を有する。信号光源10から出力される信号光パワーは0dBm、集中定数型ラマン増幅器20から出力される信号光パワーは10dBmである。このとき、ラマン増幅用ファイバ130における信号光の位相シフト量 Φ_{LRA} は0.23radであり、伝送路ファイバ30における信号光の位相シフト量 Φ_T は0.30radである。このように、ラマン増幅用ファイバ130における信号光の位相シフト量 Φ_{LRA} は、伝送路ファイバ30における信号光の位相シフト量 Φ_T の1/2以上である。

【0044】

図7は、図1に示された光伝送システム1に含まれる集中定数型ラマン増幅器20における入力光スペクトルS1及び出力光スペクトルS2である。また、図8は、種々の形態を有する伝送路それぞれにおける波長1551nmの信号光について、ビットエラーレートと受光パワー(dBm)との関係がプロットされたグラフである。なお、出力される信号光は、ビットレート2.5Gbpsの4チャネル信号光であり、各信号チャネル波長は、1511nm、1531nm、1551nm、1571nmである。また、図8において、プロットデータP1は、信号光源10から出力された直後の信号光(Back to back)に関するビットレートと受光パワーとの関係、プロットデータP2は、集中定数型ラマン増幅器を経ること無く長さ100kmの伝送路ファイバ30を伝搬した後の信号光(SMF 100km without FRA)に関するビットレートと受光パワーとの関係、プロットデータP3は、集中定数型ラマン増幅器20から出力された直後の信号光(Output of FRA)に関するビットレートと受光パワーとの関係、プロットデータP4は、集中定数型ラマン増幅器20を経て長さ100kmの伝送路ファイバ30を伝搬した後の信号光(SMF 100km with FRA)に関するビットレートと受光パワーとの関係、そして、プロットデータP5は、集中定数型ラマン増幅器20を経て長さ150kmの伝送路ファイバ30を伝搬した後の信号光(SMF 150km with FRA)に関するビットレートと受光パワーとの関係それぞれについて示している。図8中の線Lは、ラマン増幅器を経ることなく長さ150kmのシングルモードファイバを伝搬した後の信号光の受光限界を示している。

【0045】

この図8から分かるように、ラマン増幅用ファイバ130が信号光の波長において負の波長分散を有する場合、伝送特性が改善される。また、当該集中定数型ラマン増幅器20に含まれるラマン増幅用ファイバ130(高非線形性ファイバ)における自己位相変調の効果により、ラマン増幅器を設けない場合と比較して、伝送特性が改善されるだけでなく、ロスバジェットも拡大される。また、四光波混合や相互位相変調の影響は見られない。

【0046】

なお、この発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上述の実施形態では、ラマン増幅用ファイバの後方(信号出力端)から励起光を供給する後方向励起する構成が示されているが、ラマン増幅用ファイバの前方(信号入力端)から励起光を供給する前方向励起であってもよいし、また、双方向励起であってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0047】

この発明に係る光伝送システムは、信号光源から出力された信号光が有する正のチャープを十分に補償し得るため、信号チャネル間隔の広いCWDM信号伝送への適用が可能に

なる。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】 この発明に係る光伝送システムの一実施形態の構成を示す図である。

【図2】 図1に示された光伝送システムにおける集中定数型ラマン増幅器の構成を示す図である。

【図3】 この発明に係る光伝送システムの効果を確認するために用意された実験系の構成を示す図である。

【図4】 図3に示された実験系を用いた実験結果を示すグラフである。

【図5】 図1に示された光伝送システムにおける信号光伝送経路上の信号光パワー P_{signal} の分布を示すグラフである。

【図6】 図1に示された光伝送システムに含まれるラマン増幅用ファイバ130及び伝送路ファイバ30それぞれの諸元を纏めた表である。

【図7】 図1に示された光伝送システムにおける集中定数型ラマン増幅器の入力光スペクトルS1及び出力光スペクトルS2である。

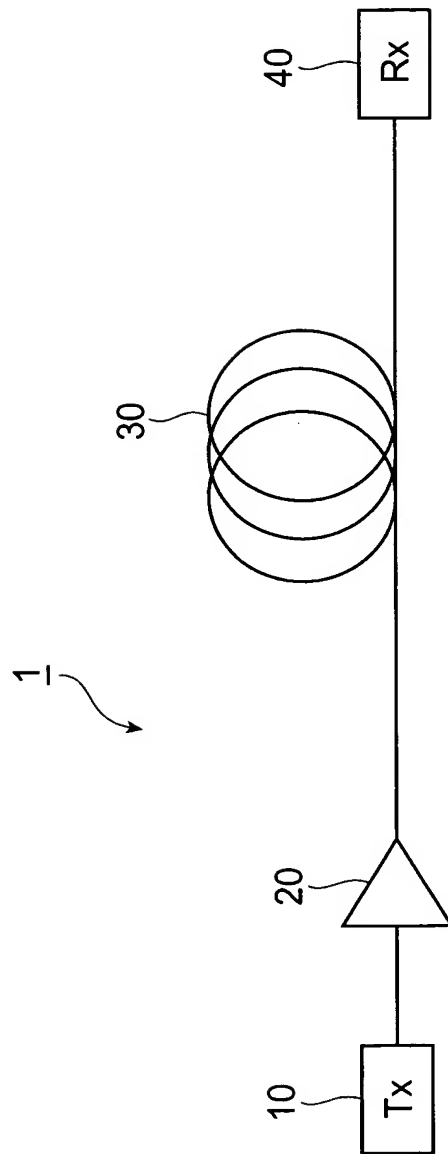
【図8】 種々の形態を有する伝送路それぞれにおける波長1551nmの信号光について、ビットエラーレートと受光パワー（dBm）との関係がプロットされたグラフである。

【符号の説明】

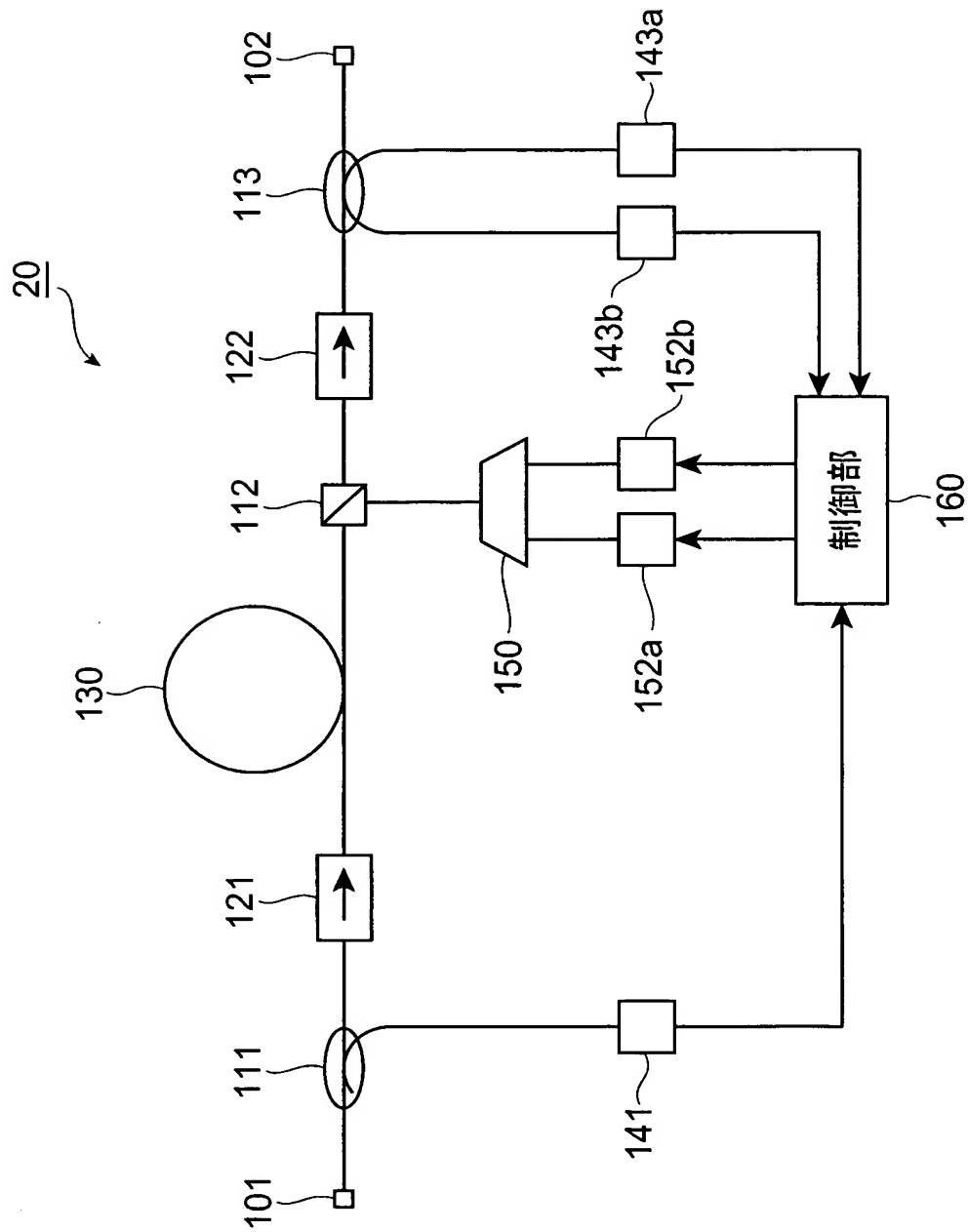
【0049】

- 1…光伝送システム
- 10……信号光源
- 20…ラマン増幅器
- 30…光ファイバ伝送路
- 40…光受信器
- 101…光入射端
- 102…光出射端
- 111～113…光カプラ
- 121、122…光アイソレータ
- 130…ラマン増幅用ファイバ
- 141、143a、143b…フォトダイオード
- 150…光合波器
- 152a、152b…レーザダイオード
- 160…制御部。

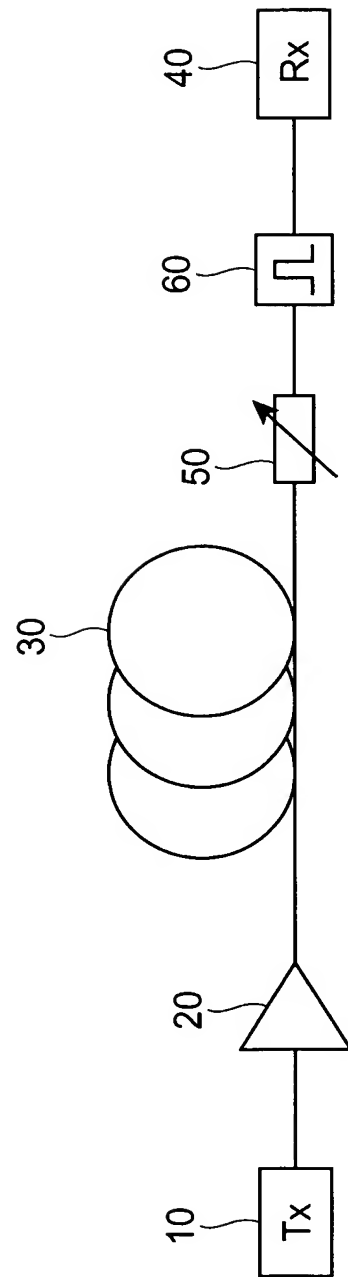
【書類名】 図面
【図 1】



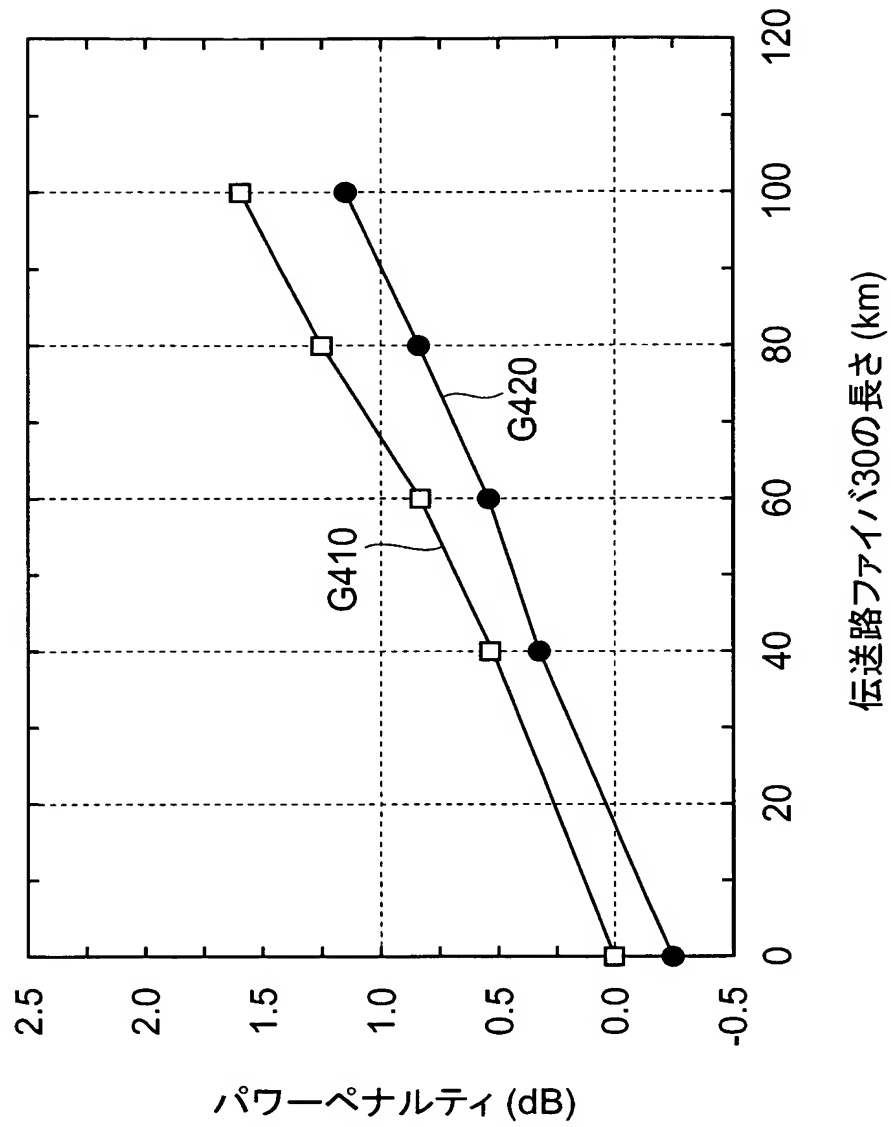
【図 2】



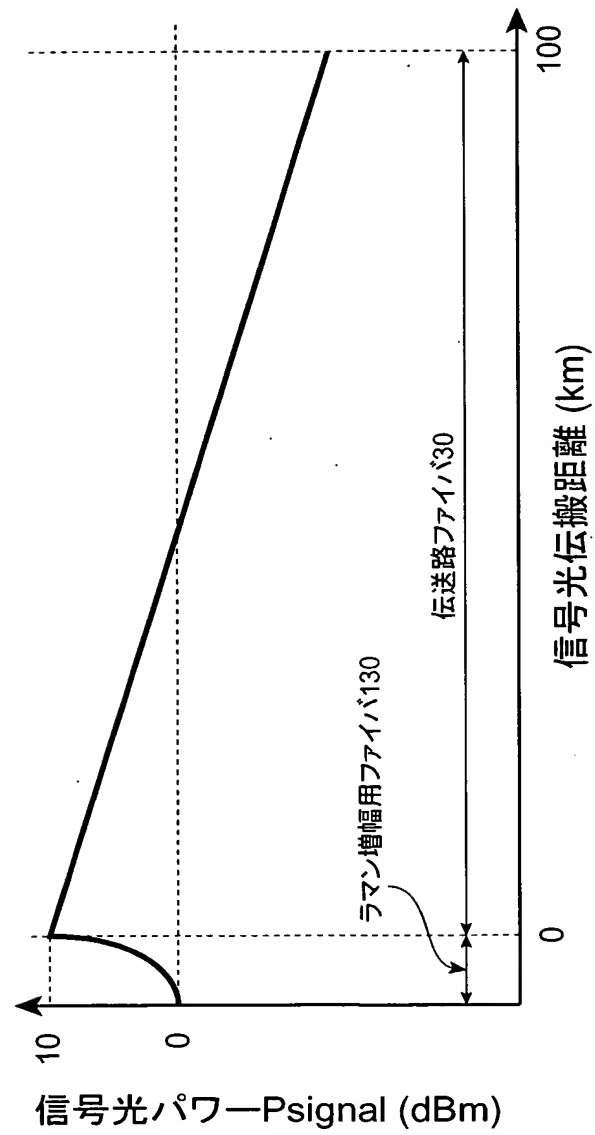
【図 3】



【図 4】



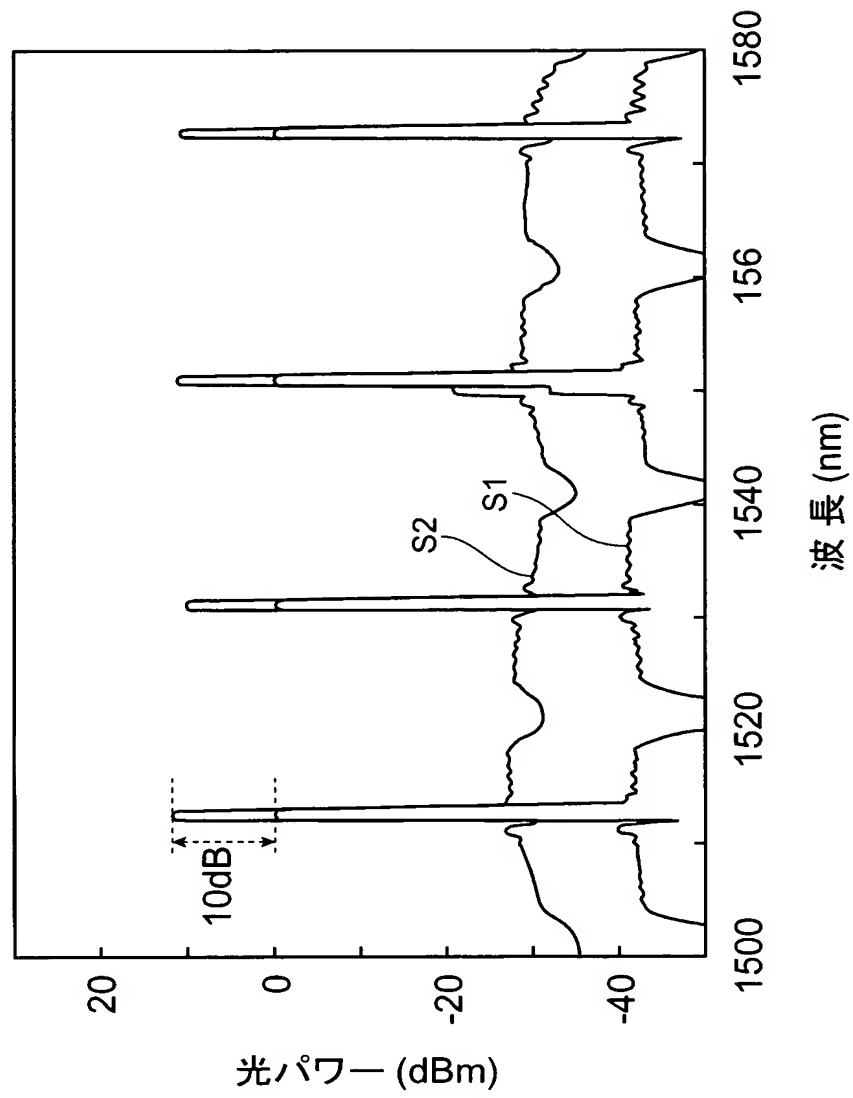
【図 5】



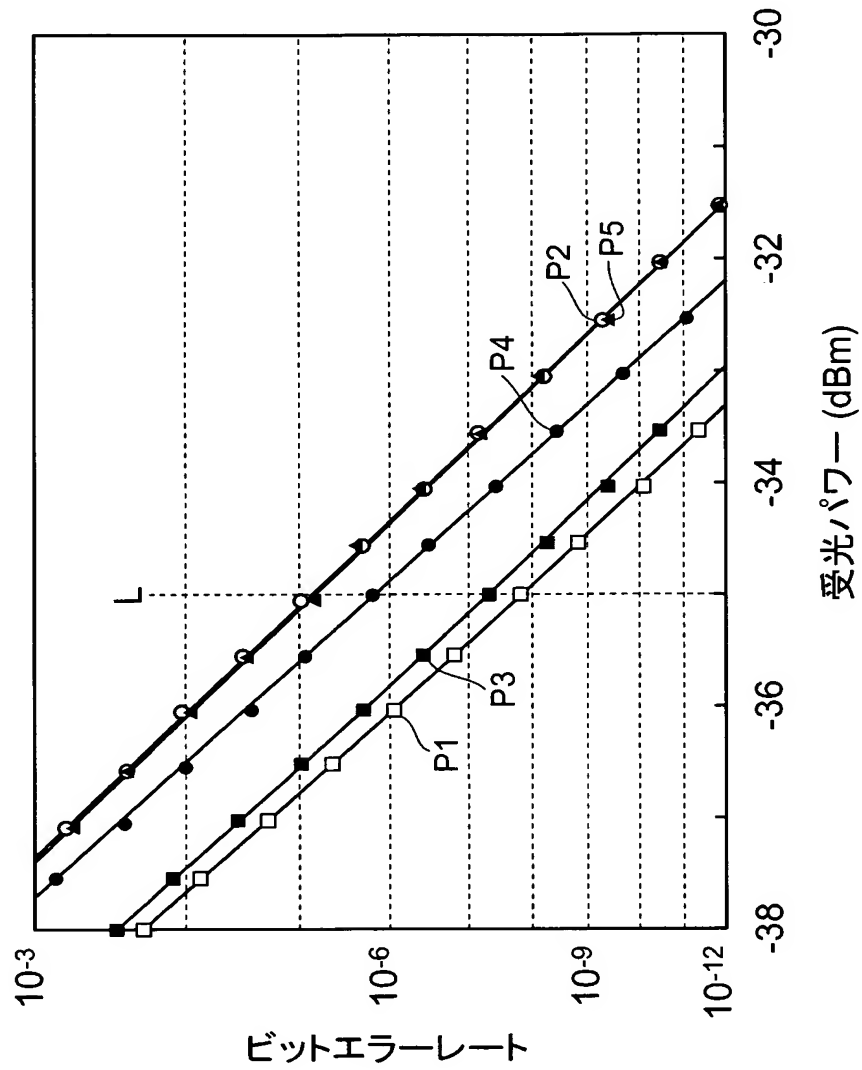
【図 6】

	ラマン増幅用ファイバ130	伝送路ファイバ30
非線形屈折率 n_2 (m^2/W)	5.3	2.9
実効断面積 A_{eff} (μm^2)	9	85
ファイバ長 (km)	3	100
伝送損失 (dB/km)	0.53	0.2
位相シフト量 Φ (rad)	0.23	0.30
非線形定数 ($1/\text{W}/\text{km}$)	23.9	0.34
波長分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	-13.6	16

【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より広い波長帯域に亘って優れた伝送特性を維持した状態で信号伝送を可能にするための構造を備えた光伝送システムを提供する。

【解決手段】 信号光源(10)から出力された信号光は、正のチャープを有しており、集中定数型ラマン増幅器(20)によりラマン増幅された後に、伝送路ファイバ(30)を伝搬して光受信器(40)に到達する。集中定数型ラマン増幅器(20)は、ラマン増幅用ファイバ(130)として、信号光波長において負の波長分散を有するとともに信号光に対して自己位相変調を意図的に生じさせる高非線形ファイバを含む。この高非線形ファイバを伝搬する信号光が有する正のチャープは、該高非線形ファイバ内で生じる負の波長分散及び自己位相変調により効果的に補償される。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 5 2 2 2 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 1 3 0]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号
氏 名	住友電気工業株式会社